

文章编号: 1006-7736(2001) 04-0001-04

船舶空间碰撞危险度的概念及其模型^{*}

郑中义, 吴兆麟

(大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 在总结前人关于船舶碰撞危险度研究的基础上, 提出了空间碰撞危险的概念, 对所给出的概念进行了解释, 并在考虑多种因素对空间碰撞危险度影响的前提下, 基于刺激-反应的理论, 给出了空间碰撞危险度模型. 该研究对于完善碰撞危险度的内涵, 建立碰撞危险度模型, 及在建立自动避碰决策系统中的应用, 具有重要的理论和实际应用价值.

关键词: 船舶; 空间; 碰撞危险度; 数学模型

中图分类号: U 675. 96 0232 **文献标识码:** A

参考文献 [1] 将船舶碰撞危险度分为时间碰撞危险度 (TCR) 与空间碰撞危险度 (Space Collision Risk- SCR), 并给出了时间碰撞危险度概念, 建立了时间碰撞危险度模型. 本文将给出空间碰撞危险度的概念、内涵, 并建立空间碰撞危险度模型.

1 SCR 的概念

SCR 定义为: 存在碰撞危险会遇两船中的一船, 以他船初始最近会遇距离 (d_{DCPA_0})、初始最近会遇点的方位及他船相对于本船的相对方位为主要因素, 以两船最低安全会遇距离为主要指标所确定的两船发生碰撞可能性大小的度量. 这一概念的含义是:

第一, 空间碰撞危险度主要以他船初始最近会遇距离 (d_{DCPA_0})、初始最近会遇点的方位及他船相对于本船的相对方位为主要因素. 这是由于: (1) 根据国际海上避碰规则规定, 除极少数会遇局面外, 存在直航船和让路船之分, 而判断直航船和让路船责任的依据主要是船的相对方位, 且由于发生碰撞后责任不同, 从驾驶员心理上感觉到的碰撞危险也不相同. 通常让路船感觉到的碰撞危险相对较大. (2) 两船的尺度不同所致. 根据参考文献 [2], 对完全相同的会遇局面, 若本船的尺度小, 碰撞危险也会小, 反之则会大. 而最低安全会遇距离的确定所依靠的就是他船的初始最近会遇距离和最近会遇点相对本船的方位. (3) 根据 Goodwin 和藤井等所确定的船舶领域模型, 一船领域的大小是其舷角的函数.

^{*} 收稿日期: 2001-07-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60172044).

作者简介: 郑中义 (1964-), 男, 河北安国人, 副教授, 主要从事海上安全定量的研究.

第二,特定会遇局面中,一船与另一船的空间碰撞危险度不一定相同.这可由第一点加以解释.

第三,空间碰撞危险度反映的是船舶碰撞可能性的度量.这是和时间碰撞危险度所反映的碰撞紧迫性相对应的.这种说法符合船员通常所说的:在两船都不采取避碰行动前提下,他船最近会遇距离小,碰撞危险度就大,反之则小.这也就决定了评价空间碰撞危险度时,所选取的因素应是与空间相关的因素.

第四,在特定的会遇局面中,以他船的初始最近会遇距离、初始最近会遇点的相对方位为主要指标,并不是不考虑其他方面的因素.根据参考文献 [3],在特定水域、特定会遇局面及特定的两船会遇中,船舶之间的作用力与两船相对速度的大小有关,相对速度越大,作用力也越大.因此,在建立空间碰撞危险度模型时,还应考虑其他方面的因素.

2 船舶空间碰撞危险度模型

2.1 影响 SCR 的因素

根据收集到的研究成果和调查,及对空间碰撞危险度拟合后的重复调查,影响船舶空间碰撞危险度的主要因素包括: d_{DCPA_0} 、最近会遇点的相对方位 (relative bearings of d_{DCPA_0})、最低安全会遇距离 (minimum distance of safety passing)、驾驶员心理感觉危险度为零的边界、来船相对方位、领域边界模糊及 d_{DCPA_0} 观测误差.

d_{DCPA_0} 是影响空间碰撞危险度的主要因素,这在过去许多研究中都有体现.在碰撞危险度的研究中,最初仅以 d_{DCPA_0} 为标志,及以后又用 d_{DCPA_0} 与 t_{DCPA_0} 综合考虑,都反映了 d_{DCPA_0} 对船舶碰撞危险度影响的重要性.而 d_{DCPA_0} 反映的是会遇并存在碰撞危险两船空间上的间隔距离,当会遇两船的 d_{DCPA_0} 大于某一值时,不论根据客观实际还是驾驶员的心理感觉,两船都不存在碰撞危险;若 d_{DCPA_0} 小于某一值时,虽然在客观上不存在碰撞危险,但驾驶员心理上并不一定感觉到安全.而介于驾驶员感觉安全与不安全之间的 d_{DCPA_0} 的临界值或根据客观实际当 d_{DCPA_0} 小于某一值时两船则肯定会发生碰撞.该临界值就可定义为两船最低安全会遇距离.

在实践中,由于最低安全会遇距离是模糊的,并不十分确定.驾驶员在避碰时,有时即使本船与他船以最低安全会遇距离或在略小于该距离上通过,也不一定采取避碰行动;而有时,即使本船与他船之间以略大于最低安全会遇距离通过,也可能采取避碰行动.由于在测定 d_{DCPA_0} 值时,所使用的设备存在误差,在避碰决策或自动避碰决策系统中应予以考虑.

在本文中,取驾驶员心理感觉到碰撞危险时的 d_{DCPA} 临界值作为最低安全通过距离.这主要是由于船舶是由驾驶员控制并进行避碰操纵的.

来船相对方位大小不同,要达到一定的安全会遇距离,要求船舶避让转向幅度并不相同.若对不同方位的来船在相同的距离上采取避碰行动,则来船的舷角越大需要转向的幅度也越大;反之则越小.总之对不同方位的来船,本船转向避让的困难程度并不完全相同.另外,根据日本学者藤井及英国学者 Goodwin 的船舶领域概念可知,对不同方位的来船,本船所要求的最低安全通过距离并不相同.因此,为了在空间碰撞危险度模型中反映上述两方面的影响,来船的相对方位也是影响船舶空间碰撞危险度的重要因素之一.

2.2 船舶安全会遇领域的定义

船舶安全会遇领域 d_1 是指本船周围所保持的与他船间的最低安全会遇距离.在该区域

内,本船拒绝他船侵入.在确定本船空间碰撞危险度时,可认为若他船侵入该领域,则空间碰撞危险度为 1.

d_1 与船舶领域概念的区别和联系在于, d_1 是与船舶领域有密切联系的概念,它以船舶领域为基础,考虑了领域边界模糊和船舶观测设备的观测误差.

一般认为,Goodwin的观测最适宜于海上.其观测结果为:对于本船右舷 $0^{\circ} \sim 112.5^{\circ}$ 的来船, d_1 为 0.85 n mile;对于 $112.5^{\circ} \sim 247.5^{\circ}$ 的来船, d_1 为 0.45 n mile;对于 $247.5^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 的来船, d_1 为 0.70 n mile.在确定 d_1 时,考虑到观测 d_{DCPA_0} 时存在的误差和 d_{DCPA_0} 模糊边界问题,参考文献 [4] 认为:当 d_{DCPA_0} 与 d_1 (船舶领域)相差很小时,驾驶员也可能不采取行动.为此,调查结果得出:领域模糊距离 $d_{FBD} = 0.276d_{DCPA_0}$.为保证安全,得

$$d_1 \approx d_{0min} + |0.276d_{DCPA_0}| + |\text{mean error}|$$

(1)

虽然上述两船之间的最近安全通过距离,是在前人研究的基础上通过适当修改而确定的,然而,在实践中,对于不同大小的船舶而言,两船之间所要求的最低安全通过距离是不同的,也即 d_1 是随会遇两船的大小而变化的^[2].因此对任何船舶之间的会遇都认为在相同的最低安全距离上通过可能也是不恰当的.

根据上式,在 Goodwin观测的基础上修正的见表 1.

表 1 围绕本船周围的 d_1 值表

与本船相对舷角 $I(^{\circ})$	000	090	180	270
d_1 / n mile	1.1	1.0	0.6	0.9

根据表 1,拟合的 d_1 与来船相对舷角关系,见图 1.

2.3 空间危险度零边界的确定

空间碰撞危险度零边界 d_2 是指在空间碰撞危险度中,围绕本船周围且空间碰撞危险度为零的 d_{DCPA_0} 值.

根据调查与观测,在海上对于通过左舷的来船,当初始 d_{DCPA_0} 为 1.5 n mile 时,有 98% 的船舶不采取任何避碰行动.对于通过右舷或通过本船船首的来船,当初始 d_{DCPA_0} 为 1.5 n mile 时,有 94.3% 的船舶不采取任何避碰行动;当初始 d_{DCPA_0} 为 1.6 n mile 时,所有的船舶都不采取任何避碰行动.对于通过本船船尾的船舶,当初始 d_{DCPA_0} 为 0.8 n mile 时,有 98.3% 的船舶不采取任何避碰行动;当初始 d_{DCPA_0} 为 0.9 n mile 时,100% 的船舶不采取避碰行动.因此, d_2 在左舷约为 1.5 n mile,在右舷和船首约为 1.6 n mile,在船尾约为 0.9 n mile.考虑到观测使用设备如 ARPA 的误差和边界的模糊性,可令 $d_2 \approx 2d_1$,见表 2 所示.

表 2 围绕本船周围的 d_2 值表

与本船相对舷角 $I(^{\circ})$	000	090	180	270
d_2 / n mile	2.2	2.0	1.2	1.8

2.4 空间碰撞危险度在 $d_1 \sim d_2$ 之间的分布

空间碰撞危险度表达式幂指数的确定是为了得出空间碰撞危险度在所 $0 \sim 1$ 之间的变化趋势.在 1956 年, S. S. Stevens^[5] 证明了心理感应强度公式为

$$O = k(h - h_0)^n$$

式中, O 为心理感应强度; h 为刺激量大小; k 为常数,取决于心理感应强度的单位; n 是一变量,其大小随不同感官(如视觉、听觉)而异.根据其测定, n 值在 $0.33 \sim 3.5$ 之间,其中视觉

对光亮度的 $n = 0.33$, 对电击 $n = 3.5$. 对来船 d_{DCPA} 的确定, 即空间碰撞危险度主要是依靠视觉从海上或从雷达上确定的, 且 S. S. Stevens 在确定对光变化的心理感应强度时, 是随光强度的增加而变化的, 因此为适宜于本船确定的空间碰撞危险度, 在本文取 $n = 1/0.33 = 3.03$. 则在 $d_1 \sim d_2$ 之间时, 空间碰撞危险度可依据 2.5 加以确定.

2.5 船舶空间碰撞危险度的确定^[6]

在确定了 d_1 与 d_2 后, 设: 本船与他船初始会遇距离 d_{DCPA} 的变化域为 U_d , 空间碰撞危险度集为 U_{dT} , 则建立的 U_{dT} 的隶属度函数

$$u_{dT} = \begin{cases} 1 & |d_{DCPA_0}| < d_1 \\ \frac{d_2 - |d_{DCPA_0}|}{d_2 - d_1} & d_1 \leq |d_{DCPA_0}| \leq d_2 \\ 0 & d_2 < |d_{DCPA_0}| \end{cases}^{3.03} \quad (2)$$

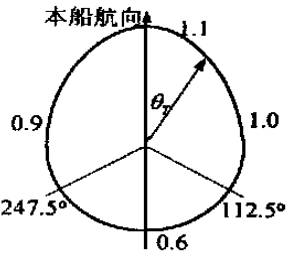


图 1 d_1 依 θ_T 分布图

式中, $d_{DCPA_0} = R_T \sin(\theta_T - \theta_r - \alpha)$.

$$d(\theta_T) = \begin{cases} 1.1 - \frac{\theta_T}{180} \times 0.2 & 0^\circ \leq \theta_T \leq 112.5^\circ \\ 1.0 - \frac{\theta_T}{180} \times 0.4 & 112.5^\circ < \theta_T \leq 180^\circ \\ 1.0 - \frac{360 - \theta_T}{180} \times 0.4 & 180^\circ < \theta_T \leq 247.5^\circ \\ 1.1 - \frac{360 - \theta_T}{180} \times 0.4 & 247.5^\circ < \theta_T \leq 360^\circ \end{cases} \quad d_2 = 2d_1$$

1.5d(θ_T)

在式 (2) 中, 由于 k 为常数, 为方便可令 $k = 1$.

3 结束语

本文基于空间碰撞危险度所反映的内在特点, 在定性分析、对船员避碰行为调查及船舶领域研究成果的基础上, 确定了反映空间碰撞危险度的主要因素. 在确定空间碰撞危险度为 1 边界和空间碰撞危险度为零边界的基础上, 根据刺激-反应理论, 确定了空间碰撞危险度在 $d_1 \sim d_2$ 的分布, 从而建立了空间碰撞危险度模型. 所建立的空间碰撞危险度模型, 基本体现了船舶碰撞可能性的实质, 丰富和发展了碰撞危险度的内涵. 但由于 d_1 和 d_2 所反映的是海上避碰的情况, 因此所建立的模型通常只适用于海上. 若要建立适用于各种水域的空间碰撞危险度模型, 还需要进行更为深入的研究工作.

参 考 文 献:

- [1] 吴兆麟, 郑中义. 时间碰撞危险度及模型 [J]. 大连海事大学学报, 2001, 27(2): 1-5.
- [2] Goodwin E M. A Statistical Study of Ship Domains [J]. Journal of Navigation, 1975, 28(3): 328-344.
- [3] Edward T Gates. Maritime Accidents—What Went Wrong [M]. Gulf Publishing Company, 1989. 51.
- [4] 赵劲松. 船舶驾驶员主观碰撞危险测度 [J]. 大连海运学院学报, 1990, 16(1): 29-31.
- [5] Stevens S S. The Surprising Simplicity of Sensory Metrics [J]. Am Psychol, 1962, 27: 29-39.
- [6] 郑中义. 船舶自动避碰决策系统的研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2000

(下转第 10 页)

Variable structure fuzzy adaptive robust control applied to fin control for ship roll stabilization with uncertainties

YANG Yan-sheng

(*Navigation College, Dalian Maritime Univ., Dalian 116026, China*)

Abstract The ship roll stabilization by fin control system is considered in this paper. When assuming unknown control gain parameters and unknown structure of function of uncertainty in ship roll model, the fuzzy system is used to approximate the function of uncertainties in the system and a variable structure fuzzy adaptive robust control algorithm that can guarantee that the sliding mode of the system is asymptotically reachable, is presented. And the method described is applied to ship roll stabilization by fin control system. It is shown that it makes the designed system guarantee the performance of robustness with respect to the perturbations and uncertainties.

Key words ship roll stabilization; variable structure control; adaptive robust control; fuzzy control

(上接第 4 页)

Space collision risk and its model

ZHENG Zhong-yi, WU Zhao-lin

(*Navigation College, Dalian Maritime Univ., Dalian 116026, China*)

Abstract Space collision risk is an important part of collision risk, on the basis of researches done before on collision risk, the concept of space collision risk is proposed, the concept of SCR is explained and the SCR model is established based on multi-factors and the theory of stimulate-action in this paper. The research has an important value to improve the connotation of SCR, establishment of the model and the establishment of automatic decision-making system of collision avoidance.

Key words ship; space; collision risk; mathematical model